

2016 年度 第 46 回
天文・天体物理若手夏の学校

講演予稿集
星間現象分科会

星間現象分科会

星間現象 -星の誕生を探る-

日時	7月26日 17:45 - 18:45 (分科会別ポスター) , 20:15 - 21:15 7月27日 13:30 - 14:30 (招待講師:羽部 朝男氏) 14:45 - 15:45, 16:00 - 17:00, 18:30 - 19:30 7月28日 16:00 - 17:00(招待講演:斎藤 正雄氏)
招待講師	羽部 朝男氏 (北海道大学)「分子雲衝突による大質量星形成」 斎藤 正雄氏 (総合研究大学院大学)「星と銀河をつなぐ星間物質」
座長	河野樹人 (名古屋大学 M2)、岩崎啓服 (立教大学 M2)、小出凧人 (鹿児島大学 M2)、永野将之 (鹿児島大学 M2)
概要	<p>星間空間には、原子ガス、分子ガス、電離ガス、ダストなど様々な状態の物質が存在しています。これらは HII 領域、分子雲、惑星状星雲、超新星残骸といった多彩な姿をとり、加熱と冷却、磁場、乱流、衝撃波などの多彩な物理現象の場となっています。そこでは電離や結合などの物理過程・化学過程を通して物質の状態が様々に変化します。したがって、星間現象を理解することは宇宙における物質の進化過程を理解することにつながります。そのため、銀河系内を中心に電波からγ線までの多波長で観測を行うことで星間現象を理解する試みがなされています。今後は、SKA(センチ波)、ALMA (サブミリ波)、SPICA(赤外線)、TMT(可視光、赤外線)、ASTRO-H(X線)、CTA(γ線)などの次世代望遠鏡によってさらに進展すると考えられます。また、理論分野からは高性能計算機を用いて、磁場の影響、分子雲の衝突、不安定性の非線形解析などの数値シミュレーションが行われています。多波長による観測とシミュレーションを通じた理論を総合的に結びつけて考察することで、星間現象についての理解が深まり、さらにそれらは銀河進化や星形成のようなスケールの異なる現象の理解にもつながります。本分科会では、観測・理論を問わず銀河系内(天の川銀河)の星間現象について取り扱います。招待講演では星間現象の分野の最先端で活躍されている講師の方々を招き、星間現象の面白さや最新の成果、問題点などについて講演していただく予定です。</p> <p>注) 星形成領域、分子雲は星間現象分科会で扱います。 注) 分子雲コア、アウトフローは星形成・惑星系分科会で扱います。 注) 超新星自身の研究はコンパクトオブジェクト分科会で扱います。</p>

羽部 朝男 氏 (北海道大学)

7月27日 13:30 - 14:30 B会場

「分子雲衝突による大質量星形成」

分子雲衝突によって起こる物理現象を解説し、それと大質量星形成との関連の研究を紹介する。分子雲衝突による星形成の可能性は、かなり古くから指摘されていた。しかし、観測的な証拠が少なく、また、分子雲衝突についての単純な理論的頻度予想値もかなり小さいため、これまで十分研究されていなかった。ところが、最近、分子雲衝突のシミュレーション結果によく対応する特徴を持つ観測例が次々と報告され、また、銀河スケールの分子雲形成進化のシミュレーションから分子雲衝突頻度が従来の考えよりもかなり大きい可能性が示され、注目されている。特に、分子雲衝突は、大質量星形成との関係で興味を持たれている。この講演では、星形成、特に、大質量星形成についての基本的な事項を整理し、それとの関連で、分子雲衝突によって起こる物理現象の特徴を紹介する。乱流を持つ分子雲が衝突することによって、降着率の大きな高密度コアが形成されること、形成された高密度コアの質量関数は質量のべき乗則に従うこと、質量関数のべき乗則の衝突速度依存性などを紹介する。降着率の大きな高密度コアから大質量星形成が期待されることから、分子雲衝突と大質量星形成との密接な関係が期待されることを紹介する。

1. A. Habe and K. Ohta, PASJ. 44 203 (1992)
2. Fukui, Y.; Ohama, A.; Hanaoka, N.; Furukawa, N.; Torii, K, et al. ApJ. 780 36 (2014)
3. K. Takahira, E. J. Tasker. and A. Habe, ApJ. 792 63 (2014)

斎藤 正雄 氏 (総合研究大学院大学)

7月28日 16:00 - 17:00 B会場

「星と銀河をつなぐ星間物質」

星間物質と言ってもその形態、スケール、物理量、特徴づける物理プロセスは多岐に渡っている。本講演では星間物質のイメージが観測天文学の進展とともにどのように変わってきたのか、そして今後どのように進めたら良いかを一緒に考える材料を提供する。特に、初期の電波観測による成果をもとに巨大分子雲、分子雲コアなどの概念がどのようにして確立していったのか、当時提案された概念はその後の観測でどのように変わっていったのかを関連する物理にふれながら、概観する。また、この10年くらいででてきた新たなシナリオや現在進んでいる様々な観測、特にNANTENでの全天サーベイ、野辺山45m鏡による銀河面サーベイ、ALMAによる高分解能観測で今後どのような成果が期待できるのかについても触れたい。また、観測天文学で使われている解析手法についても合わせて紹介する。

1. 星間物質と星形成 (シリーズ現代の天文学)

星間 a1 超新星残骸 Cassiopeia A 周辺星間ガスの観測的研究

稲葉 哲大 (名古屋大学大学院理学研究科 天体物理学研究室 (A 研) M1)

宇宙線とは、宇宙空間を飛び交う高エネルギー粒子のことであり、地球にも絶えず降り注いでいる。その主な成分は陽子であり、その他に電子、原子核なども含まれる。宇宙線は地球環境に影響を与えるだけでなく、星形成の場となる星間ガスにも加熱や電離を通して大きな影響をあたえる。しかし宇宙線の発見以来、その起源は解明されておらず、天文学における最大の課題の一つとして残っている。

超新星爆発による衝撃波は星間空間に多大な影響を与えるだけでなく、 $E \sim 3 \times 10^{15} \text{eV}$ (extitknee energy) までの宇宙線加速源の最有力候補である。これまで、我々のグループでは銀河系内の7つの超新星残骸 (Supernova remnant; SNR) において星間ガスとエックス・ガンマ線放射の空間分布の比較やスペクトル解析を行い、SNR 衝撃波と星間ガスの相互作用が高エネルギー放射、および宇宙線加速と深く関わっていることを明らかにしてきた (e.g., Fukui et al. 2012; Sano et al. 2013, 2015)。

Cassiopeia A は銀河系内の若い (年齢 ~ 340 歳)SNR であり、エックス・ガンマ線をはじめとする全波長帯で非常に明るい天体である。Cassiopeia A は自由膨張期 - セドフ膨張期にあると考えられており (e.g., Gotthelf et al. 2001), この進化段階の SNR は extitknee energy に届く宇宙線の加速源である可能性が示唆されている (Ohira et al. 2012)。したがって、Cassiopeia A における星間ガスと高エネルギー放射との関係性を明らかにすることは、宇宙線の起源を解明するうえで重要な手掛かりとなるはずである。

今回我々は、野辺山 45 m 鏡 $^{12}\text{CO}(J=1-0)$ 輝線, Heinrich Hertz Submillimeter Telescope $^{12}\text{CO}(J=2-1)$ 輝線, it Chandra エックス線望遠鏡公開データ, VLA Hsc i データ他を用いて星間ガスと高エネルギー放射の空間分布の比較を行った。結果として、エックス線の吸収に寄与している分子雲を同定した。さらに分子雲および硬エックス線の空間分布と ^{12}CO の $J=2-1/1-0$ 比から、衝撃波と相互作用を起こしている星間ガスを発見した。本講演ではこれらの結果を踏まえ、銀河系内の若い超新星残骸 Cassiopeia A における星間ガスと高エネルギー放射、宇宙線加速との関係性について述べる。

星間 a2 スーパーバブル 30 Doradus C に付随するガス雲の観測的研究

山根 悠望子 (名古屋大学大学院理学研究科 天体物理学研究室 (A 研) M1)

超新星残骸 (SNR:Supernova Remnant) は宇宙線加速源の最有力候補である。これまでに、SNR からの電波及びシンクロtron X 線観測によって、SNR の衝撃波面における宇宙線加速が確認されている (e.g. Koyama et al. 1995)。さらに、宇宙線の大部分を占める陽子成分についても、星間ガスとの衝突により放射されるガンマ線と、SNR に付随するガスの分布との一致が示されたことから、SNR における加速が観測的に実証され始めた (e.g. Fukui et al. 2012)。しかし、陽子加速が確認された SNR はまだ5天体に過ぎない (Aharonian et al. 2008, Fukui et al. 2012, Fukui 2013, Yoshiike et al. 2013, Fukuda et al. 2014)。宇宙線加速の一般的描像を得るには、さらに様々な性質の SNR での検証

が必要である。

スーパーバブル 30 Doradus C (30 Dor C) は、大マゼラン雲に位置する SNR 複合体であり、宇宙線加速の面から注目される。特にシンクロtron X 線や、TeV ガンマ線で非常に明るいことは、数 TeV を超える高いエネルギーまでの宇宙線加速を示唆している。また、高銀緯に位置する 30 Dor C は手前に存在するガスの影響が少なく、距離も 50kpc であることが正確に分かっている。そのため、銀河系内の SNR に比べて、物理量推定の誤差が小さく、衝撃波と星間ガスの相互作用を研究するうえで適している。

今回我々は ASTE 電波望遠鏡で、30 Dor C 周辺の $^{12}\text{CO}(J=3-2)$ を角度分解能 $\sim 22'$ ($\sim 5 \text{mpc}@ \text{LMC}$) で観測した。この高分解能なデータを用いて、30 Dor C 周辺の分子雲クラump を同定した。さらに Mopra による $^{12}\text{CO}(J=1-0)$ や、 mH_I の公開データも組み合わせる解析し、X 線の詳細な空間分布との比較も行った。それにより、X 線と空間的に反相関を示すガス成分を発見した。また、 mH_I/CO それぞれについて位置速度図を作成し速度構造を精査したことで、直径 ~ 4 分角、膨張速度 $\sim 15 \text{km/s}$ の膨張シェル構造を発見し、付随するガス成分の特定に至った。以上の結果を踏まえ、本講演では 30 Dor D における宇宙線加速について論じる。

1. Koyama, K., Petre, R., Gotthelf, E. V., Hwang, U., Matsuura, M., Ozaki, M., and Holt, S. S. 1995, Nature, 378, 255
2. Fukui et al., 2012, ApJ, 746, 82
3. Aharonian et al. 2008 A & A, 481, 401A

星間 a3 超新星残骸 HB21 の X 線観測: 分子雲衝突、過電離および粒子加速の関係

鈴木 寛大 (東京大学 馬場・中澤研究室 M1)

宇宙には超高エネルギーの荷電粒子が満ちており、それらは星間物質等との相互作用で γ 線を放出して観測される。

粒子は超新星残骸 (Supernova Remnant; SNR) の衝撃波面における Fermi 機構などにより高エネルギーまで加速されると考えられているが、その過程は十分には解明されていない。加速現場としての SNR の理解のためには、付随する数百万度のプラズマを調べ、温度や密度などの環境を知ることが重要である。プラズマは X 線帯域で熱制動放射や特性 X 線の放射をするため、X 線観測がこれらの物理量測定に最適である。

近年、プラズマの「過電離」という現象が SNR から見つかった [1]。これはプラズマの電離温度が電子温度よりも高い状態であり、分子雲と相互作用している SNR でのみ発見されていることから、衝撃波と分子雲の相互作用がこの特殊な状態をつくっていると考えられる。興味深いことに、 γ 線が検出された SNR のほとんどが過電離プラズマを持つことも分かっている。したがって、過電離の要因を探ることは粒子加速の理解にもつながり得る。

そこで我々は過電離・ γ 線と分子雲衝突との相関が調べられる天体として、HB 21 を研究対象に選んだ。この SNR からは γ 線放射も確認されており [2]、南部において比較的薄い、もしくは小さい分子雲と相互作用していることが分かっている [3]。そのため HB 21 は、分子雲と強く相互作用する SNR と分子雲の付随しない SNR の中間に位置すると言え、この天体の解析によって分子雲衝突と過電離・粒子加速の関係性の理解を進めることができる。

我々は「すざく」衛星で HB 21 南部を 156 ksec 観測し、観測領域全体に広がった放射を発見した。また、スペクトルには熱制動放射の上に H 状や He 状に電離した Si, S の輝線が見られた。熱的放射を詳しく調べてプラズマの電離状態を明らかにし、さらに熱的放射 (X 線) と γ 線との相関についても考察する。

1. Yamaguchi et al. 2009, ApJ, 705, L6
2. Pivato et al. for the Fermi LAT collaboration 2013, arXiv:1303.2091
3. Koo et al. 2001, ApJ, 552, 175

星間 a4 X 線天文衛星「すざく」による超新星残骸 G6.4-0.1(W28) の北東部の観測

尾近 洗行 (京都大学 宇宙線研究室 M1)

G6.4-0.1(W28) は電波ではシェル状に広がり、X 線では中心集中している形状から Mixed-Morphology (MM) 型の超新星残骸 (SNR) に分類される。近年の X 線天文衛星「Suzaku」による観測で、MM 型の SNR から過電離プラズマが次々に発見されている。現在詳しい形成過程はよくわかっていないが、有力なモデルとして星間物質 (ISM) からの熱伝導冷却によって温度の低いプラズマが生ずる熱伝導モデルと、電離平衡状態にあったプラズマが衝撃波により密度の低い ISM に広がって断熱膨張する際に電子温度が下がる断熱膨張モデルの 2 つが提案されている。この 2 つのモデルを検証するには、過電離状態にあるプラズマの空間分布を調べることが必要である。

Sawada & Koyama (2012) は「Suzaku」の観測から、W28 の中心部で電離過程より再結合過程が優勢な過電離状態にあるプラズマを発見した。そこで、W28 のプラズマの過電離状態の形成過程を解明するために、今回我々は「Suzaku」による W28 北東側のシェルの観測に着目した。断熱膨張モデルの場合、プラズマの電離状態の空間分布は大域的にはほぼ一緒になると予想される。一方で熱伝導モデルでは衝撃波と ISM との衝突が起こる面で電子温度の冷却によって特に強い過電離状態を示すと考えられる。したがって、北東側の温度や電離状態を中心部分と定量的に比較することで過電離プラズマの形成モデルの検証が行える。本発表では、W28 北東の X 線スペクトルの解析の詳細について報告し、その結果に基づいてこの天体の過電離プラズマの起源を議論する。

1. Makoto Sawada, Katsuji Koyama PASJ, Vol.64, No.4, Article No.81, 7 pp

星間 a5 X 線天文衛星「すざく」による新発見の若い超新星残骸 G306.3-0.9 の観測的研究

立花 克裕 (京都大学 宇宙線研究室 M1)

G306.3-0.9 は 2013 年に Swift の銀河面サーベイで新しく発見された超新星残骸 (SNR) である。発見後すぐに Chandra によって追観測が行われ、サイズの見積もりから年齢 ~ 2500 年と比較的若い SNR と推定されている [1]。銀河系内の SNR は現在およそ 300 以上発見されているが、年齢 10000 年以下の SNR はサンプルが少なく、2000 年以内のものは 5-6% にすぎない。したがって G306.3-0.9 は SNR の進化

の過程を理解する上で重要なサンプルになることが期待される。しかし Chandra の先行研究では、多くの若い SNR で顕著な Fe-K 輝線の検出が報告されていない。これは Chandra のスペクトルで 2 keV 以上の高エネルギー側の統計が悪く、またバックグラウンドが高いことが一因と考えられるが、そもそも年齢の見積もりが不正確である可能性も否定できない。そこで我々は初の Fe-K 輝線の検出を目的として、エネルギー分解能に優れ、高エネルギー側でバックグラウンドの影響が少ない「すざく」を用いて、2014 年 8 月 14 日に G306.3-0.9 の観測を行った。得られた X 線スペクトルから Fe-K 輝線を初めて検出し、輝線の中心エネルギーから比較的低電離の Fe が存在する兆候を確認した。このことから G306.3-0.9 は電離が進む前の若い SNR だということが示唆される。近年の研究では、Fe-K 輝線の強度と電離状態を調べることで爆発のタイプ (大質量星の重力崩壊; CC 型または白色矮星の核暴走; Ia 型) や年齢の正確な見積もりが可能であることが示されている [2]。本研究では Fe-K 輝線より年齢について定量的に見積もり、また、これまでに明らかにされていない G306.3-0.9 の爆発の起源についても議論する。

1. Reynolds et al. 2013, ApJ, 766, 112
2. Yamaguchi et al. 2014, ApJ, 785, L27

星間 a6 ETCC による観測に向けた銀河面拡散核ガンマ線イメージングシミュレーション

中村 優太 (京都大学 宇宙線研究室 M1)

AGB 星、Wolf-Rayet 星、重力崩壊型超新星、新星のアウトフローなどにより生成される ^{26}Al は 1.8MeV γ 線を放出して ^{26}Mg へ崩壊する。その寿命は 0.7×10^6 年であり、銀河系内における物質拡散速度と同程度であることから系内物質流のトレーサーとして重要である。系内で観測される核 γ 線の中でも特に強度が高く、COMPTEL や SPI/INTEGRAL による観測から ^{26}Al 銀河面内分布も得られている。

しかし、これら従来型の観測装置では γ 線の到来方向についての情報が本質的に不足しているために十分な解像度が得られておらず、 ^{26}Al 系内分布の詳細な議論には至っていない。MeV 領域の γ 線観測が他のエネルギー領域に比べ遅れている要因としてはこの帯域の γ 線の相互作用がほぼ Compton 散乱に限られることが上げられる。我々が開発をしている ETCC (Electron Tracking Compton Camera) はチェンバー内ガスの電子との Compton 散乱による散乱 γ 線と同時に反跳電子飛跡も検出することで入射 γ 線についての情報を完全に再構成することができる。そのため PSF (Point Spread Function) の広がりを抑えることができ、同時に視野外の事象の影響も受けなくなるため高い撮像能力が得られる。 ^{26}Al をはじめ ^{60}Fe , e^+e^- 対消滅などによる γ 線の分布を大幅に改善可能である。性能試験用の $30 \times 30 \times 30\text{cm}^3$ 小型 ETCC では PSF の FWHM で 10° (@662keV) を達成している。

銀河面からの ^{26}Al と e^+e^- 対消滅の γ 線観測を目的とする気球実験: SMILE-II+(Sub-MeV gamma ray Imaging Loaded-on-balloon Experiment) を 2018 年ごろに豪州で行う予定である。また、スウェーデン、南極での長期気球実験: SMILE-III、衛星観測実験: SMILE-Satellite による全天観測も計画中である。充填ガス・シンチレーションカウンター部分の変更、装置の大型化などにより Satellite では 1mCrab の検出感度に達する見込みである。これは COMPTEL の 100 倍の感度である。これらの計画、特に SMILE-III, Satellite の計画に向けて我々の ETCC の性能で銀河面核 γ 線分布がどのように見えるかシミュレーション

ンした結果について述べる。

星間 a7 Planck・AKARI・IRAS 衛星による銀河系ダスト放射のモデル構築

西原 智佳子 (名古屋大学、銀河進化学研究室 (Ω研) M1)

我々は星やガス、ダストおよびダークマターが集まった渦巻き銀河である銀河系内に住んでいる。そのため、天文衛星が宇宙空間で全天を観測すると必ず銀河系内のダストによる放射が前景放射として重なることになる。銀河系のダスト放射のデータは様々な観測衛星から得ることができる銀河のダストの性質の理解につながる重要なデータである。また前景放射によって隠されてしまう宇宙マイクロ波背景放射などの情報を得るためにもダスト放射の精密なモデル化は急務である。ダストは大きく多環式芳香族炭化水素 (PAH)、very small grain、large grain の3種類に分類され、その中で large grain は輻射場と熱平衡になり熱的放射をする。そのエネルギースペクトル (SED) は $I_u \propto u^\beta B_u(T)$ (β は定数、 $B_u(T)$ は黒体放射の放射強度) で表される modified blackbody で近似するのが現在の主流であるが、このモデルでダスト放射を正確に記述できるかは分かっていない。そこでダストの熱的放射の近似として modified blackbody が本当に「良い」モデルなのかを判定することを目指した。そのためにダストの放射モデルを $I_u \propto u^\beta B_u(T)$ とし、モデル 1: $\beta = \beta_0$ 及びモデル 2: $\beta = \beta_1 + \beta_2 \log u$ (ただし $\beta_0, \beta_1, \beta_2$ は定数) の2つを考え、どちらの方が「良い」モデルかを検証した。モデルの「良さ」は Akaike の Information Criterion を用いて判断している。本研究では Planck・AKARI・IRAS の3つの観測衛星の計8バンドのデータを用いた。また、ダストの密度による SED の違いを考慮するために 353 GHz での光学的深さで全天を8つに分類して SED フィッティングを行った。その結果から β に u の依存性が入ったモデルの方が「良い」モデルであるという示唆が得られた。本講演では観測データの処理や SED フィッティングの方法、考察なども含めた研究内容と今後の展望について述べる。

1. Akaike, H, IEEE Transaction on Automatic Control 19(6): 716-723 (1974)

星間 a8 分子雲衝突による Spitzer Bubble の形成

服部 有祐 (名古屋大学大学院理学研究科 天体物理学研究室 (A研) D2)

大質量星の形成メカニズムの解明は天文学において重要な課題となっている。現在我々は分子雲同士の衝突 (Cloud-Cloud Collision; CCC) による大質量星の形成について注目している。これまでに4つの超巨大星団について CCC を支持する結果が得られているが (Torii et al. 2015, Fukui et al. 2014, Furukawa et al. 2009, Ohama et al. 2010, Kuwahara et al. in prep.)、超巨大星団は銀河系で10天体程度しかない。そこで次に我々は大質量星形成領域の候補として Spitzer Bubble に注目した。Spitzer Bubble は Churchwell et al. (2006, 2007) によって銀経 ± 60 度以内に約600天体がカタログされている。赤外線 $8\mu\text{m}$ でリング構造をもち、内部の大質量星によって電離された HII 領域を伴うのが特徴である。我々は視直径が6分角以上の52個の Spitzer Bubble 対

して NANTEN2 電波望遠鏡 (角度分解能 $180''$) を用いて $^{12}\text{CO}(J=1-0)$ 観測を行った。その結果32天体について Spitzer Bubble 方向に異なる視線速度の2つの分子雲を同定した。これらは $8\mu\text{m}$ の輪郭と相補的な空間分布をもつことが分かった。さらに2つの分子雲の速度構造が星風などの膨張モデルでは説明できない構造であることから、分子雲衝突によって形成されたと結論づけた。しかし、90% 近くの Spitzer Bubble は視直径が6分角より小さいため NANTEN2 望遠鏡による観測は大きい天体にバイアスされている可能性がある。そこで、さらに視直径が6分角以下の天体について、Mopra 望遠鏡 ($30''$) による $^{12}\text{CO}(J=1-0)$ 、及び ASTE 望遠鏡 ($22''$) による $^{12}\text{CO}(J=3-2)$ の観測を約40天体について実施した。その結果、全天体の方向で Spitzer Bubble の $8\mu\text{m}$ の輪郭に一致する分子雲を同定した。また $^{12}\text{CO}(1-0)$ と $^{12}\text{CO}(3-2)$ の輝線強度比 $R_{3-2/1-0}$ を求めたところ、比の値が銀河系での典型値の0.5 (Oka et al. 2007) より高くなっていることが分かった。これは周囲の分子雲が Spitzer Bubble 内部の大質量星の放射によって励起されていると解釈することができ付随状態を強く支持する結果である。本講演では、これらの結果について報告し、温度・密度などの物理量から分子雲衝突による形成についての議論を行う。

1. Torii, K., Hasegawa, K., Hattori, Y., et al. 2015, apj, 806, 7
2. Habe, A., and Ohta, K. 1992, pasj, 44, 203

星間 a9 ALMA 望遠鏡による小マゼラン雲内の星形成初期段階領域 N83 の高分解能観測

本間 愛彩 (大阪府立大学 宇宙物理学研究室 M1)

南天の空に輝く小マゼラン雲 (SMC) は、銀河系から最も近い銀河の内の1つである。銀河系に比べてガスダスト比が17倍で比較的ダストが少なく、重元素量が1/10程度と少ない特徴を持つ。宇宙初期に似た環境における分子雲の物理的状態や星形成過程を観測的に理解する上で、極めて重要な対象である。SMC 内の分子雲は単一鏡のビームサイズとほぼ同規模の大きさであり、これまで星形成に直結する分子雲コアやクランプを同定かつ分解するのは困難であったが、ALMA 望遠鏡の登場により SMC 内の分子雲を sub-pc スケールで観測可能となり、銀河系分子雲との直接比較が初めて可能となった。本研究では ALMA 望遠鏡を用いて、低重元素量環境での分子雲構造や星形成過程を調査するため、SMC をターゲットに観測を行った。

観測対象とした N83C は、SMC の一部分から孤立したウィング部分に位置するが活発な星形成領域であり、HIISpace-1emI 領域の淵に沿って分子ガスが付随している。先行研究として ASTE 望遠鏡を用いた $^{12}\text{CO}, ^{13}\text{CO}(J=3-2)$ の観測から、SMC 内で最も温度が高くかつ高密度な領域である事が分かり、Spitzer source が分子雲内に数個付随している事からも、星形成初期段階領域を研究するには最適のターゲットである。

本講演では、我々が ALMA Cycle 2 にて行った N83C の $\text{CO}(J=2-1, 3-2)$ およびその同位体等の輝線観測について報告する。N83C 分子雲北部では、輝線強度比より見積もった温度が高く、原始星が進化し周囲の分子雲を加熱/散逸させつつあることが分かった。一方同分子雲南部では $\text{C}^{18}\text{O}(J=2-1)$ 輝線のスペクトルを検出出来た事から、分子ガスの密度が高く、星形成活動が近い将来さらに活発になる可能性があると推測できた。また、分子雲の柱密度分布を銀河系の大質量星形成領域である Orion 領域と比較したところ、N83C 分子雲の方がよりコンパクトで

高密度であった。このことは、SMCのような低ダスト環境下において、周囲の星からの紫外線が分子雲内部まで入り込み、COが選択的に光解離されている状態を示唆する。

1. Mizuno, N., Rubio, M., Mizuno, A., et al. 2001, PASJ, 53, L45
2. Bolatto, A. D., Simon, J. D., Stanimirovic, S., et al. 2007, ApJ, 655, 212

星間 a10 巨大 HII 領域における分子雲の内部構造について

北亦 裕晴 (大阪大学 理学研究科 宇宙進化グループ M1)

大質量星の形成過程を知ることは、銀河天文学の大きな課題の一つになっている。しかし、大質量星は数が少ない上に、低質量星形成領域に比べると距離が遠いため、その形成過程は未だよく分かっていない。大質量星は集団で形成され、また非常に短い時間で進行する ($\sim 10^6$ [yr])。また、その形成過程において強い紫外線を放射したり、超新星爆発を起こしたりすることによって、周囲の星間物質に大きな影響を与える。高輝度の $H\alpha$ 線 ($\sim 10^{40}$ [ergss $^{-1}$]) を放出する巨大 HII 領域は、密集した OB 型星の集団的な形成過程を知るのに理想的な環境である。そこで我々は、そのような HII 領域である NGC604 (距離 840 [kpc]) を調べることにより、大質量星形成の環境を明らかにすることを目指している。NGC604 は渦巻銀河 M33 にあり、中心に約 200 個の OB 型星のクラスターとそれに付随した巨大分子雲を持つ。これまでの観測から、NGC604 にはアーク状の高密度な分子雲が存在していることが知られている (Tosaki et al. 2007)。アーク形状は、中心に位置する大質量星の集団が、星風や超新星爆発により、周囲の分子雲を圧縮することで形成されたと考えられる。しかし形成されたばかりの大質量星の環境や、大質量星の形成過程を総合的に理解するためには、NGC604 に付随する巨大分子雲の内部構造をより詳細に分析する必要があり、より高い分解能 (≤ 10 [pc]) の観測が必要となる。そこで我々は ALMA を用い、NGC604 から放射される $^{13}\text{CO}(1-0)$ などの輝線の高感度高空間分解能の観測を行った。本発表では、星形成に直結するクラumpsケール (\sim 数 [pc]、 ~ 1000 [M_{\odot}]) での分子雲の物理的性質について調べた結果を中心に報告する。

1. Tosaki et al. 2007, ApJL, 664, L27
2. Kawamura et al. 2009, ApJS, 184, 1

星間 a11 大マゼラン雲におけるスーパージャイアントシェル LMC4 内部の HII 領域 N55 の ALMA による高分解能観測

高田 勝太 (大阪府立大学 宇宙物理学研究室 M1)

大マゼラン雲 (LMC) は、太陽系から約 50kpc の距離にあり、小マゼラン雲 (SMC) と共に最も近い系外銀河の一つである。また、LMC は face-on の銀河であり、高銀緯に位置していることから、非常に観測に適した天体であるといえる。また、銀河系と比べて重元素量が少なく、銀河系内とは異なる環境下での星形成を考察する上でも重要な天体で

ある。

LMC では、多数のスーパージャイアントシェル (SGS) が同定されており、その一つである LMC4 は直径 1.5kpc であり、LMC の中では最大のシェル状構造である。今回の観測ターゲットである HII 領域 N55 は、この LMC4 の内部に位置している。N55 は、ポピュラス星団 LH72 により励起されており、LMC4 のキャビティ内において唯一観測された巨大分子雲を伴っている。この領域の分子雲分布は、ASTE 望遠鏡 (空間分解能は $22''$) による先行観測により、Spitzer $24\mu\text{m}$ および $8\mu\text{m}$ の強度ピークに $^{12}\text{CO}(3-2)$ 輝線で非常にコンパクトな局所ピークを持つことが明らかにされた。

本研究では、ALMA (Cycle1, Cycle2) によって N55 に付随する分子雲の高空間分解能観測を行った。 $^{12}\text{CO}(1-0)$, $^{13}\text{CO}(1-0)$, $\text{C}^{18}\text{O}(1-0)$, $\text{CS}(2-1)$ や $\text{H}(40\alpha)$ 輝線、連続波の 6×4 角のモザイク観測である。この観測は、N55 領域の分子雲をほぼすべてカバーできており、空間分解能は $2.5''$ (0.6pc) である。本研究の結果、分子雲の詳細な分布や速度構造が明らかになった。検出された分子雲分布は、Spitzer $8\mu\text{m}$ で見えるフィラメント状の構造に沿ってつぶつぶとしたクラumpsが多く分布していた。また、 $^{13}\text{CO}(1-0)$ 強度が強いところでは、連続波や $\text{CS}(2-1)$ 輝線も検出された。それぞれのクラumpsの質量を導出したところ、 $10^3 M_{\odot}$ 程度の分子雲が多いことが分かった。銀河系内の大質量形成領域である Orion 分子雲 ($10^4 M_{\odot}$ 程度 (Nishimura et al. 2015)) とは違い、孤立したコンパクトなクラウドから中大質量原始星が誕生していることが分かった。これは、HII 領域やシェルの影響を受けてガスが吹き飛ばされたという可能性が考えられる。

星間 a12 R136 に付随する水素原子ガスの観測的研究

Tsuge Kisetsu (名古屋大学大学院理学研究科 天体物理学研究室 (A 研) M1)

1 pc^3 に 10^4 個以上の大質量星を含む大規模星団 (Super Star Cluster: SSC) は重元素の供給や、紫外線放射による星間ガスの電離を引き起こし、周囲の環境に多大な影響を与える。よって、この形成過程を探ることは銀河の進化をはじめ、宇宙の構造形成を解明する上で重要である。しかし、その形成過程は明らかになっていない。

R136 は大マゼラン雲 (LMC) に含まれる SSC である。この天体は局部銀河群の中で最も重い巨大星団で太陽の 10^5 倍もの質量を持つ。これは天の川銀河に存在する SSC の質量より 1 桁大きい。また、非常に明るい Hsc ii 領域が付随しており太陽質量の 200 倍を超える大質量星が存在する (Crowther et al. 2010)。このような特徴から、R136 の形成過程を明らかにすることは球状星団の形成過程の理解にもつながると考えられ意義深い。さらに LMC は天の川銀河から最も近い距離 (~ 50 kpc) に存在する銀河であるため、より正確に物理量を定量できるという利点もある。

本研究では R136 について ATCA & Parkes (Kim et al. 2003) によって得られた Hsc i データを解析し、2 つの異なる速度を持つ原子ガスと二つの速度成分をつなぐ速度成分の存在を明らかにした。この 2 成分は Luks & Rohlfs (1992), Mizuno et al. (2001) で同定された L, D コンポーネントに対応する。また、Hsc i データと NANTEN (Fukui et al. 2008) による CO のデータ、星団の位置との比較を行った。

本講演ではこれらの結果を踏まえて、水素原子ガス同士の衝突が大質量星団の形成にどの程度寄与しているかを議論する。

1. Luks and Rohlfs 1992, Astronomy and Astrophysics, 263, 41-53

2. Mizuno et al. 2001, PASJ, 53, 971-984
 3. Crowther et al. 2010, Mon. Not. R. Astron. Soc. 408, 731-751

3. Hattori.Y., et al. 2016, PASJ, doi: 10.1093/pasj/psw028

星間 c1 分子雲衝突シミュレーションで探る大質量星形成

島 和宏 (北海道大学 宇宙物理学研究室 D2)

分子雲衝突が大質量星形成の外的要因となっていることを示唆する観測結果が多数報告されている。北大のグループでは、衝突の衝撃波圧縮による高密度コア形成、衝突と大質量星形成のタイムスケールが矛盾しないかどうか、電離ガス分布や大質量星のフィードバックによる誘発的星形成などを明らかにするためにシミュレーション研究を進めてきた。講演ではこれまで得られた結果と共同研究者である Haworth の論文のレビューを含めて発表する。

1. Takahira, K., Tasker, E. J., & Habe, A., 2014, apj, 792, 63
 2. Haworth, T. J., Tasker, E. J., Fukui, Y., et al., 2015, mnras, 450, 10
 3. Haworth, T. J., Shima, K., Tasker, E. J., et al., 2015, mnras, 454, 1634

星間 c2 「あかり」及び Herschel による銀河系赤外線バブルの統計的研究

花岡 美咲 (名古屋大学 理学研究科 宇宙物理学研究室 赤外線グループ (UIR 研) D1)

銀河系内には、赤外線でバブル構造が見える天体が多く確認されている。これら赤外線バブルは、中心の大質量星からの放射により、星間物質がシェル状に分布することで形成されると考えられている。一方で、大質量星自身の形成過程は未だ明らかではない。大質量星形成メカニズムは理論的にいくつかのシナリオが提唱されており、近年の NANTEN/NANTEN2 を用いた CO 電波観測からは、分子雲同士の衝突によって、大質量星が形成されたと考えられる結果が示されている。ダストで覆われた中心の大質量星とその周囲の星間物質の状態を調べるには、赤外線観測が有効であり、これら観測結果と提唱されるシナリオを比較することで、大質量星形成メカニズムに制限を加えることができる。本研究では、「あかり」及び Herschel 衛星によって得られた赤外線観測データを統計的に解析し、大質量星形成メカニズムについて議論する。

銀河系円盤内における赤外線バブル約 100 天体について、観測データから赤外線バブルの中心座標と円半径を見積もった。また、Spectral Energy Distribution (SED) を導出し、得られた SED に対して芳香族炭化水素と warm dust、cold dust の 3 成分を用いた model fit を適用することで、各成分の光度と総赤外線光度を求めた。さらに、各成分の空間分布を求め、赤外線バブルの構造と大質量星の位置関係を議論した。大質量星形成シナリオから予想される赤外線バブルの構造と比較することで、大質量星形成メカニズムに制限を加える。

1. Churchwell, E., et al. 2006, ApJ, 649, 759
 2. Habe, A., & Ohta, K. 1992, PASJ, 44, 203

星間 c3 分子雲と相互作用する超新星残骸での低エネルギー宇宙線

岩崎 啓克 (立教大学 M2)

超新星爆発によって衝撃波が形成され、高温の物質が放出される。それらは超新星残骸と呼ばれる構造を形成し、数万年の間、周囲の物質や磁場と影響しあいながら膨張を続ける。超新星残骸は宇宙線の銀河系内での加速源として有力視されているが、加速領域への粒子の注入、加速効率、粒子の逃走など、宇宙線加速に関して未解決の問題も多い。超新星残骸の中には、Fermi 宇宙望遠鏡などによってガンマ線の放射が観測されているものもある。このガンマ線放射は超新星残骸によって加速された電子や陽子といった高エネルギー粒子からの放射であると考えられている。Fermi 宇宙望遠鏡によってガンマ線が観測された超新星残骸のうち、ガンマ線強度が強いものはほぼ全て、分子雲と相互作用をしている。また、そのような超新星残骸では過電離状態のプラズマが X 線観測によって発見されてきているのも特徴である。

一方で、10 MeV 程度の低エネルギーの宇宙線陽子についてガンマ線による観測はできないが、宇宙線が分子雲中の原子にぶつかることで原子の周りの電子が励起し、特性 X 線が放射されると考えられる。X 線帯域での観測からそのような輝線を検出することで、低エネルギー宇宙線の量に制限をかけられると考えられる。これまでに、Kes79 や、3C391、Kes78、W44 などの超新星残骸において、中性もしくは低電離の鉄からの K α 輝線 (~6.4 keV) を用いた解析が行われ、低エネルギー宇宙線の存在が検出、示唆されてきた (T. Sato 2015)。現在、陽子由来の強いガンマ線放射があり、分子雲との相互作用が報告されている IC443 において、鉄の輝線放射について解析を行い、低エネルギー宇宙線の探索を行っている。空間分解能に優れた Chandra X 線天文衛星によって観測されたデータを用いており、相互作用している分子雲など領域を絞った詳細な解析が可能である。

星間 c4 銀河系中心領域における磁気活動がもたらす星間現象の解明

柿内 健佑 (名古屋大学理学研究科素粒子宇宙物理学専攻 Ta 研 (理論宇宙物理学研究室) M2)

銀河系中心領域では、数 100kpc 以内の小さな領域に高温高密度の分子ガスが集積している。CO などの観測結果から、この領域における分子ガスは数 100km/s に及ぶ大きな視線速度の分散を持っており、銀河回転に沿った回転速度成分だけでは説明できないような複雑な速度構造をしていることが分かっている。この要因として、銀河系中心領域では、重力以外に磁場や衝撃波などの他の物理的要素が強く寄与する可能性が考察されている。特に、領域内の磁場の強さは局所的に 0.1-1mG 程度に達するという観測的示唆 (Morris et al. 1992) に基づけば、星間ガスにかかる磁気圧は、ガス圧 (\propto 温度 \times 密度) と同程度に寄与することから、磁気活動は星間ガスの動力学に強い影響を与えていると推定される。これを理論的に検証するために、Suzuki et al.(2015) は、銀河系中心領域における大規模な 3 次元磁気流体シミュレーションを行った。その結果、磁気乱流が動径方向の運動を励起し、位置-速度図に観測結果と

合致するような特徴的な平行四辺形構造を再現することを明らかにしている。これに加えて、本研究では、同数値計算結果を用いて、未解析であった鉛直方向のガス運動、特にバルジ内部における磁場の鉛直構造に起因するガスの下降流について詳細な解析を行った。この下降流は上空から銀河面に向かうに従い加速するが、その領域を位置速度図に対応させたところ、観測されている CO 輝線の位置速度図に見られる高速度分散領域をよく説明することも分かった。見つかった下降流は複数存在しており、見込む角度により、位置-速度図に異なる分布を示すことが期待され、観測されている多様な構造を説明できる可能性がある。

1. Morris M., Davidson J. A., Werner M., Dotson J., Figer D. F., Hildebrand R., Novak G., Platt S., 1992, ApJ, 399, L63
2. Suzuki T. K., Fukui Y., Torii K., Machida M., Matsumoto R., 2015, MNRAS, 454, 3049

星間 c5 中間質量ブラックホール存在の検証及び重力散乱過程についての理論的研究

Guo YanSong (名古屋大学理学研究科素粒子宇宙物理学専攻 Ta 研 (理論宇宙物理学研究室) M2)

天の川銀河における IMBH の存在は Oka et al. (2016) の分子雲観測によって初めて示唆された [1]。彼らは分子雲 CO-0.40-0.22 を電波で詳細に観測した結果、 ~ 100 km/s という非常に大きな速度分散を持ったコンパクトな分子雲を発見した。この速度は分子雲の典型的な温度 10K に対応する音速 0.2 km/s に対して非常に大きいため、熱的なものではこの速度分散を説明できない。彼らはこの異常に大きい速度分散が分子雲同士の衝突や超新星爆発による影響では説明できないことを示した。その上で、彼らはブラックホールのようなコンパクトな重力源によって分子雲が散乱されている可能性を N 体シミュレーションによって検証した。その結果、太陽質量程度の IMBH が存在すれば観測される分子雲の速度分散を説明できることを示した。Oka et al. は天の川銀河に IMBH が存在する可能性を初めて定量的に示唆した重要な研究であるが、彼らの N 体シミュレーションは観測結果の正確な解釈をする上で大きな問題がある。それは、先述のように分子雲は音速より非常に大きい速度分散を持つことがわかっているが、このことは分子雲が重力源によって散乱される際に潮汐変形によって非常に強い衝撃波が形成されることを示唆する [2]。その結果、電波観測の分子線を出す分子 (CO, H₂ など) は解離されてしまう可能性がある。Oka et al. の研究は分子輝線の観測に基づいているが、彼らの N 体シミュレーションには衝撃波加熱の効果が考慮されていない。そのため実際に IMBH に重力散乱されている分子雲が観測された分子輝線を出せるかは未解明である。IMBH による重力散乱の仮説を検証するには、放射冷却 [3] の影響も含めて極めて強い衝撃波の中で観測される輝線を出す分子が解離せずに生き残ることができるのか、輝線放射をどのように解釈すれば良いのかを理解することが重要である。

1. Signature of an Intermediate-mass Black Hole in the Central Molecular Zone of Our Galaxy. The Astrophysical Journal Letters, Volume 816, Issue 1, artic
2. Tidal Disruption and Ignition of White Dwarfs by Moderately Massive Black Holes. The Astrophysical Journal, Volume 695, Issue 1, pp. 404-419 (2009).

3. An Origin of Supersonic Motions in Interstellar Clouds. The Astrophysical Journal, Volume 564, Issue 2, pp. L97-L100

星間 c6 VERA と FCRAO-14m による銀河系外縁部分子雲衝突の観測的研究

小出 凖人 (鹿児島大学 M2)

IRAS 01123+6430 は銀河系外縁部に属する mH_2O メーザーを放射する大質量星形成領域の一つである。この天体について VLBI Exploration of Radio Astrometry (VERA) による年周視差測定から距離計測を行ったところ、距離は $7.64^{+1.02}_{-0.80}$ kpc であった。また、この天体には分子雲が付随しており、アメリカの 5 大学が設立したミリ波望遠鏡 "Five College Radio Astronomical Observatory (FCRAO)-14m" の $^{12}CO(J=1-0)$ 輝線サーベイデータを調べたところ、弧状成分と直線状成分を持った、分子雲衝突の痕跡を示す形状の分子雲が確認された。この分子雲を特徴付けるために、VERA の年周視差測定で求めた距離と視直径を使ってサイズを ~ 40 pc、FCRAO-14m で観測された光度を用いて光度-質量変換の式から質量を $2.0 \times 10^4 M_{\odot}$ と見積もった。衝突の証拠を明らかにするために、大型分子雲に小型分子雲を衝突させた後の形状を示す分子雲衝突モデルとの比較を行った。このモデルの仕組みは、大型分子雲に小型分子雲が衝突した後、衝撃波によって圧縮層が生じ、大質量星が形成されるというものである。その結果、弧状成分は、大型分子雲に小型分子雲が衝突した後に形成される衝撃波面を示し、直線状成分は、小型分子雲が通過した後に生じた成分が圧縮しながら弧状成分の方へ運動しているものだと分かった。また、比較に使用したモデルの衝突速度を調べたところ、衝突速度の遅い分子雲衝突ほど直線状成分が形成されやすいことが分かった。このことから、IRAS 01123+6430 は比較的遅い分子雲衝突により星形成が起こったと考えられる。

1. Habe. A and Ohta. K, 1992, PASJ, 44, 203
2. Heyer. M.H, Carpenter. J.M, and Snell. R.L, 2001, ApJ, 551, 852
3. Takahira. K, Tasker. E.J, and Habe. A, 2014, ApJ, 792, 63

星間 c7 チャンドラ衛星と NuSTAR 衛星による超新星残骸 RX J1713.7-3946 の観測結果

辻 直美 (立教大学 M2)

銀河系内の宇宙線は超新星残骸 (SNR) で加速されていると考えられている。銀河系内に存在するシェル構造を持つ超新星残骸の中でも、SNR RX J1713.7-3946 はシンクロtron X 線と TeV ガンマ線放射が非常に強く、粒子加速を検証する上で、広く研究が進められてきた天体である。本講演では、RX J1713.7-3946 のチャンドラ衛星による観測の詳細な解析結果と、NuSTAR 衛星による最近の観測における解析の現状を報告する。

我々は 2000 年から 2011 年に渡る 7 回のチャンドラ衛星による観測をもとに、RX J1713.7-3946 の北西領域の proper motion を測定した。これにより、表面に形成される衝撃派速度が約 3900 km/s であることを明らかにした。この比較的速い衝撃派速度の値と、XMM-Newton 衛星

による熱輝線放射の発見 (Katsuda et al., 2015) を合わせて、SNR の流体力学的性質を記述する解析解と比較することで、この天体の物理量やまわりの環境に制限を与えることができた。特に、X 線観測から初めて西暦 393 年の新星 (SN393) との関連を支持する結果や、この天体が自由膨張期にある可能性が高いことを示唆する結果を得た。

さらに、最近に NuSTAR 衛星によって撮像された観測についても解析を開始した。2015 年 9 月と 2016 年 3 月にそれぞれ 50 ks、57 ks の露光時間で、NuSTAR 衛星による北西領域の観測が行われた。NuSTAR 衛星は硬 X 線観測に特化した衛星であり、特に 10 keV 以上の硬 X 線では、はじめての撮像観測を実現している。今回は RX J1713.7-3946 における 10 keV 以上の硬 X 線イメージなど、観測結果の現状について報告する。

1. Katsuda, S., Acero, F., Tominaga, N., et al. 2015, ApJ, 814, 29
2. Tanaka, T., Uchiyama, Y., Aharonian, F. A., et al. 2008, ApJ, 685, 988
3. Truelove, J. K., & McKee, C. F. 1999, ApJS, 120, 299

星間 c8 VERA で知る星形成領域 G135.28+02.80,G137.07+03.00 の天の川銀河 内での位置

永野 将之 (鹿児島大学 M2)

我々は、VERA による天の川銀河内の星形成領域 G135.28+02.80,G137.07+03.00 の観測結果から、それぞれの年周視差と固有運動を求めることに成功した。それぞれの年周視差 (距離) は、 $0.110 \pm 0.009 \text{ mas} (9.09^{+0.81}_{-0.69} \text{ kpc})$, $0.183 \pm 0.012 \text{ mas} (5.45^{+0.38}_{-0.34} \text{ kpc})$ で、固有運動が $(\mu_{\alpha} \cos \delta, \mu_{\delta}) = (-0.60 \pm 0.16, 0.16 \pm 0.16)$, $(\mu_{\alpha} \cos \delta, \mu_{\delta}) = (-0.73 \pm 0.14, 0.01 \pm 0.17)$ となった。この結果は、視線速度から求めた運動学的距離と一致しておらず、2 天体の銀河系内での位置を調べると、外縁部の Outer Arm、もしくはさらに遠方の New Arm に付随していることが分かった。

また、同方向の大質量星形成領域 W3(OH) との位置関係を調べると天球面上で 4 度以内にあるのに対し、奥行き距離の大きな差があり、それぞれ異なった Arm に付随していることを明らかにできた。

さらに、測定した距離と固有運動を用いて、2 天体の銀河回転速度を求めると、太陽系の回転速度と 10km/s 以内で一致した。これは銀河系の回転曲線が銀河中心距離 R=16kpc までフラットであることを示唆する。

1. Reid et al. (2014)
2. David A.Lyder & John Galt (1997)
3. K.Hachisuka et al. (2009)

星間 c9 星形成領域 IRAS 22198+6336 に付随する 6.7 GHz メタノールレーザーの強度変動の研究

宮本 祐輔 (茨城大学理工学研究科理学専攻物理系 M2)

大質量星とは太陽の 8 倍以上の質量を持つ天体のことを指すが、未だその形成過程は解明されていない。一方で大質量星形成領域には、大

質量星にのみ付随する 6.7GHz メタノールレーザーが観測されることが知られており、強度変動するものも存在する。また、現在までに確認されている 6.7GHz メタノールレーザーで周期変動を示す天体は 19 あるが、本研究ではその中の一つであり、中質量星ながら 6.7GHz メタノールレーザーを放射する唯一の天体である IRAS 22198+6336 (以下 IRAS 22198) に着目した。IRAS22198 の 6.7GHz メタノールレーザーは Fujisawa et al. (2014) によって初めて確認された。しかし、ここではデータ不足のためにフレアの起き始めを観測できていなかったほか、検出されていても変動形状やピーク時刻のずれが導出できていなかった点が課題として挙げられた。そこでより詳細な変動パターンを求めるため日立 32m 電波望遠鏡を用いて観測を行った。IRAS 22198 は 2012/12/30 - 2014/01/10 及び 2014/05/05 - 現在まで 1 日 1 回観測しているが、今回はフレアが予想されるときに 1 日 30 回以上集中的に観測した 2014/07/12 - 2014/07/26 のデータを解析に用いた。観測の結果、全部で 6 つのスペクトル成分を 2014/07/13 - 2014/07/23 の 10 日間で確認した。それ以外では検出感度以下だった。先行研究と同様にピーク時刻のずれを確認し、その期間は最大で 4.3 日だった。現在は IRAS 22198 のレーザー放射領域やその周期変動モデル、また各スペクトル成分の変動傾向について考察中である。

1. K. Fujisawa et al. pasj psu053 (2014)
2. T. Hirota et al. pasj 60.5 961 (2008)
3. K. Inayoshi et al. 2041-8025 769 2 L20 (2013)

星間 c10 近赤外線での偏波観測による銀河系中心の磁 場構造の研究

有村 幸大 (九州大学 宇宙物理理論研究室 M1)

天の川銀河中心には銀河面に垂直な方向のシンクロtron放射やフィラメントの存在から銀河面に垂直な磁場が優位であるという観測結果が得られた。一方で遠赤外やサブミリ波による観測は磁場と同じ方向の回転軸をもつダストによる磁場に垂直な方向の熱放射によって中心の磁場が銀河面に平行であることが示唆された。又垂直な磁場と平行な磁場を組み合わせた磁気流体学のモデルが Uchida et al. によって提案されており、そのモデルでも銀河面付近では平行な磁場が優位であると予測している。今回紹介する論文 Nishiyama et al. では、銀河中心での磁場の配置を求めるために、近赤外線である J,H,Ks バンドでの観測で磁場の方向に平行なダストが背景光を吸収することによる偏波の方向を求めている。J,H,Ks バンドでの観測には近赤外カメラ SIRPOL と 1.4m 望遠鏡の IRSF を用い SgrA* を中心とする $20' \times 20'$ の領域を観測している。左右両偏波からストークスパラメータ Q, U がわかり、偏波放射強度と偏波角を見積もることができる。今回、3 つのうち 2 つのバンドでの等級の差によって星を近くの星、青色星、赤色星に分類した。青色星での平均の偏波放射強度は 3.8 % であり、平均の偏波角は $15^\circ .1$ であった。また赤色星での平均の偏波放射強度は 4.3 % であり、平均の偏波角は $15^\circ .0$ であった。赤色星は、銀河中心での吸光に加えてディスクでの吸光も受けているので銀河中心における偏波放射強度と位置角は赤色星から青色星を引いたものになる。その平均の偏波放射強度は 0.85 % であり、偏波角は $16^\circ .0$ であった。偏波角は分散が $21^\circ .5$ でヒストグラムのピークは約 20° であった。銀河中心での位置角のヒストグラムのピークは約 20° なので、銀河中心での磁場は銀河面にほぼ平行という結果になった。また銀河中心付近のフィラメント、GC Radio Arc など

の近くではフィラメントからの放射が強く直線偏光されており、磁場がフィラメントの長軸に平行になっていることも確認された。

1. Nishiyama S. et al ,ApJ,690,1648 (2009)
2. Uchida Y.Sofue Y.& Shibata.K. Nature, 317 699 (1985)

星間 c11 銀河系中心領域に存在する young, intermediate-age stars の起源の探査

岩松 篤史 (東北大学天文学専攻 M1)

銀河系の中心から 0.5pc 以内の領域には若い星 (~Myr) が密集している。しかし、その起源は明らかになっていない。有力視されている形成過程の 1 つは、中心から離れた領域で星団が形成されて、摩擦で中心まで移動する、というものである。Nishiyama & Schodel (2013) は、中心から 0.5 ~ 3pc の範囲に若い星の候補が存在することを発見した。分光観測の結果、若い星の候補は 50 ~ 500Myr の intermediate-age stars であるとわかった (Nishiyama et al. 2015)。これらが、中心に向かって移動している星団の残骸かもしれない。

本研究では、固有運動を使って星団の残骸の有無を明らかにするため、2012 年にすばる望遠鏡/IRCS+AO188 で intermediate-age stars を含む 14 視野を撮像した。intermediate-age stars は、銀河中心に多く存在する赤色巨星 (~Gyr) とは異なる時期に形成された。intermediate-age stars とその周りの星が星団の残骸として存在する場合、それらは星団の運動を保持している。したがって、赤色巨星に対し特異な固有運動を示す集団を発見できれば、星団の残骸であると言える。

固有運動検出の可能性を議論するため、視野にある星の位置の相対的な精度の測定を行った。典型的な位置精度は 2.3 ~ 4.0mas であった。星団の残骸の固有運動を、銀河中心領域のアーチ星団の固有運動 (~5mas/yr) と同程度だと仮定する。この場合、2012 年の観測時から現在まで、星団の残骸は ~25mas 移動していると考えられる。この仮定の上では、現段階で固有運動を 5σ ~ 8σ で検出できる。また、等級や画像上の位置と各星の位置精度に相関があることを確認できた。

1. Nishiyama & Schodel 2013 A&A, 549, A57
2. Nishiyama et al. 2015 A&A, 588, A49

星間 c12 X 線天文衛星「すざく」による超新星残骸 SN 1987A の観測

梅田 真衣 (関西学院大学大学院 M1)

超新星残骸 1987A は、1987 年 2 月 23 日に約 50 kpc 離れた Large Magellanic Cloud (LMC) に発見された超新星 SN1987A の残骸であり、ハッブル宇宙望遠鏡による観測で、超新星を取り巻く明るいリング構造が確認されており、爆発前の親星の質量放出によって形成された密度の高い領域と考えられている [1]。1992 年 ROSAT の観測で初めて軟 X 線を検出し、軟 X 線フラックス (0.2-5keV) は継続的な増加している。特に、爆発後約 6000 日以降に増光の傾きが大きくなっており、この傾向は 9000 日においても継続していることが確認された [2] [3]。動径方向に広がる超新星爆発による衝撃波が、密度の高いリング構造と相互作用し始めたことを示唆している [3]。(X 線光度の時間発展を追う

ことは、リング構造の詳細、爆発前の星の性質を解明することにつながる。) 我々は、「すざく」による観測データの中で、最も新しい、2012 年 11 月の観測データに着目して、解析を行った。観測時間は 81.3ksec である。得られたスペクトルは、Strum et al. 2006 と同様の二温度の電離非平衡プラズマモデルでよく再現できた。結果、軟 X 線フラックスは $8.421 \times 10^{-12} \text{erg, cm}^{-2}, \text{s}^{-1}$ となり、Maggi et al. 2012 での報告以降においてもフラックスの増加が継続していることがわかった。

1. Chevalier, R. A. and Dwarkadas, V. V. 1995, ApJ, 452, L45
2. Maggi, P., Harberl, F., Sturn, R., and Dewey, D., 2012, A&A 548, L3
3. Park, S., Zhekov, S. A., Burrows, D. N., & MacCray, R. 2005, ApJ, 634, L73

星間 c13 多輝線観測データで探る超高速コンパクト雲 HVCC-0.21-0.12 の起源

辻本 志保 (慶應義塾大学大学院理工学研究科基礎理工学専攻 岡研究室 M1)

銀河系の中心部半径 200 pc の領域は中心分子層 (central molecular zone; CMZ) と呼ばれ、大量の分子ガスが集中している。CMZ 内の分子雲は、高温 ($T_k > 30 \text{ K}$) ・高密度 [$n(\text{H}_2) \gtrsim 10^4 \text{ cm}^{-3}$] かつ激しい乱流状態にあり、これらの特異性の起源は未解明である。

私たちのグループはこれまで、野辺山 45 m 鏡や ASTE 10 m 鏡等を用いて、複数の分子輝線による CMZ の大規模なイメージング観測を行ってきた。その中で、空間的に小さく (< 5 pc)、速度幅が異常に広い ($\Delta V > 50 \text{ km s}^{-1}$)、特異な分子雲『超高速コンパクト雲 (high velocity compact cloud; HVCC)』が多数発見された (e.g. Oka et al. 2012)。ほとんどの HVCC は分子輝線でのみ確認でき、他波長に対応天体を持たず、その起源や解釈を困難なものにしている。いくつかの HVCC についてはより詳細な分子輝線観測が行われている。最近では、CO-0.40-0.22 の空間-速度構造は、 $10^5 M_\odot$ の見えない質量により分子ガスが重力散乱された結果である可能性が指摘され、中間質量ブラックホールの存在が示唆された (Oka et al. 2016)。また、CO 0.02-0.02 と CO 1.27+0.01 には大質量星団が付随している可能性がある (Oka et al. 2001, 2008; Tanaka et al. 2007)。つまり HVCC は銀河中心核の成長の鍵となる中間質量ブラックホールや大質量星団と関係している可能性が高く、その起源の解明は極めて重要である。

今回私たちは、CMZ の西側に位置し、高い CO $J=3-2$ / CO $J=1-0$ 強度比を示す CO-1.21-0.12 に注目し、CO $J=3-2$, CO $J=1-0$, ^{13}CO $J=1-0$ および C^{18}O $J=1-0$ 輝線データの詳細な解析を行った。その結果、この HVCC は速度 $V_{\text{exp}} \sim 60 \text{ km s}^{-1}$ で膨張するシェル状の分子雲に付随することが判明し、その運動エネルギーは $\sim 10^{51} \text{ erg}$ と評価することができた。したがって、CO-1.21-0.12 の起源として複数の超新星爆発が考えられる。本ポスター講演では、以上の結果に基づいて、CO-1.21-0.12 と他の HVCC との共通点・相違点を整理するとともに、HVCC の起源について議論する。

1. T. Oka, et al. ApJL, 816, L7 (2016)
2. T. Oka, et al. ApJS, 201:14 (2012)
3. T. Oka, et al. PASJ, 53, 787 (2001)

.....
星間 c14 年周視差を用いた星形成領域
IRAS05358+3543 の距離測定及び内部運動

水窪 耕兵 (鹿児島大学 M1)

IRAS05358+3543 は、大質量星の周囲に様々な分子雲とアウトフローがあり、ジェットの実在も示唆されている。しかし、この領域は $(l,b)=(173.4845,+02.4337)$ に位置しているにもかかわらず運動学的距離でのみ測定されており、正確な距離の測定は行われていない。そこで、年周視差による距離決定をするために、2013 年から 2015 年にかけて VERA で行われた水メーザーの観測を解析した。解析方法は、参照電波源が弱いため逆位相補償を用いた。その結果、 $1.160\pm 0.088\text{mas}$ の年周視差を測定することができた。だが、約 60mas 離れた隣のフェーチャーでは 2.782 ± 0.157 という年周視差が得られた。

1. Ronald.S and Snell et al. (1990)
 2. H.Beuther et al. (2007)
 3. S.Leurini te al. (2007)
-